



МРНТИ 67.21.23

Обзорная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-226-248>

## Современные технологии мониторинга подтопляемых территорий и их влияние на инфраструктуру

А.Т. Мухамеджанова<sup>1</sup> , Д. Кажимканулы\*<sup>1</sup> , Е.Б. Утепов<sup>1</sup> , А. Анискин<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Университет Север, Вараждин, Хорватия

(E-mail: dias27049795@gmail.com)

**Аннотация.** Данный обзор посвящен анализу современных технологий мониторинга подтопляемых территорий и их влиянию на инфраструктуру. Специфика рассмотренных статей позволила определить 5 основных категорий, формирующих структуру обзора, в том числе управление водными ресурсами и инфраструктурные решения; мониторинг и прогнозирование на основе данных; Интернет вещей (IoT); воздушные и мобильные технологии; аналитические и вычислительные методы. При отборе статей для обзора преимуществом обладали те, которые предлагают современные решения, включая геоинформационные системы (ГИС), дистанционное зондирование (ДЗ), IoT, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), машинное обучение (МО) и искусственные интеллекты (ИИ). Проведен анализ этих решений и установлены их недостатки. Обзор выявил, что комплексные решения обеспечивают более эффективный и точный мониторинг, прогнозирование и обнаруживание подтопленных территорий в режиме реального времени. Обзор выделяет важность интеграции различных современных технологий для создания более эффективных и точных систем мониторинга, прогнозирования зон риска и обнаруживания подтопляемых территорий. Особое внимание уделено применению таких решений, как БПЛА и ИИ для оценки площади подтоплений, IoT и ИИ для мониторинга уровня воды в реальном времени, а также МО и ИИ для прогнозирования рисков подтоплений. Анализ публикаций за последние 10 лет демонстрирует значительное увеличение интереса к этим решениям, что связано с возрастающей актуальностью и сложностью решения проблемы подтоплений в условиях изменения климата, урбанизации и экстремальных погодных явлений. Прогнозируется, что в будущем такие подходы будут играть ключевую роль в разработке стратегий управления рисками подтоплений, обеспечивая защиту населения и инфраструктуры.

**Ключевые слова:** подтопления, мониторинг, современные технологии, оценка риск, инфраструктура.

Поступила 26.12.2024. Доработана 03.03.2025. Одобрена 09.03.2025. Доступна онлайн 31.03.2025

\*<sup>1</sup>автор для корреспонденции

## **Введение**

За последние несколько лет во многих городах мира происходят сильные подтопления по причине мгновенного изменения климата, изменения почвенно-растительного покрова, вызванного быстрой урбанизацией, и увеличением количества осадков. Городские территории сталкиваются с серьезными бедствиями из-за подтоплений [1-3]. Подтопление может поставить под угрозу жизнь и здоровье людей, а также их имущество [2]. Кроме того, подтопления, связанные с нарушением водного режима и вымыванием почвы, которые сильно влияют на сельское хозяйство, поскольку население зависит от земледелия и скотоводства [4-6]. Последствия подтопления распространяются не только на людей и их имущество, но и на формы рельефа, такие, как низменности, равнины и аллювиальные равнины с ограниченным потоком и высоким скоплением воды [6]. Поскольку подтопления часто наносят ущерб инфраструктуре, многие страны сталкиваются с различными социально-экономическими проблемами [6]. В связи с насущностью проблемы подтопления для многих стран поиск ее потенциальных решений становится все более актуальным [5].

Причины подтопления городских территорий были исследованы многими зарубежными учеными. Они выявили ряд основных причин. Например, [1] считают, что причиной подтопления городских территорий стало изменение климата в результате глобального потепления [3-5-7], снижение уровня инфильтрации осадков в результате быстрой урбанизации [3-8-10] и увеличения количества сильных (ливневых) и непрерывных дождей в течение короткого периода времени. Кроме того, они отметили недостаточную эффективность и неадекватность традиционных дренажных систем [4-5-8-11], а также неправильное планирование города.

Таким образом, в [2] считают, что причинами могут быть социальные и природные факторы, а также человеческий фактор. Например, глобальное потепление в результате экстремальных погодных явлений [3-4], структура городского рельефа и его проницаемость, неэффективное планирование и строительство, несвоевременное реагирование на стихийные бедствия, качество инфраструктуры, ограниченные возможности метеорологической службы и экстренной поддержки для предотвращения и смягчения последствий стихийных бедствий. [3] выделил два ключевых фактора: метеорологические и геологические. Согласно [11], именно эти факторы приводят к уменьшению поверхностной инфильтрации и увеличению стока. В [4] приходят к выводу, что основными причинами подтопления являются вмешательство человека и географическая уязвимость некоторых сельскохозяйственных районов. В [5] выделяют несколько ключевых факторов, таких, как обильные осадки, резкие колебания уровня грунтовых вод и плохая структура почвы. В [6] считают, что подтопление вызвано накоплением избыточной воды, географическими характеристиками, изменениями в характере атмосферной циркуляции, которые влияют на количество осадков, и различные экологические факторы. По мнению [7], подтопление – это многогранная проблема, вызванная природными и антропогенными факторами [11]. В [8] считают, что ограничения в гидравлическом моделировании и отсутствие комплексного планирования способствуют возникновению проблемы подтопления. [9] объясняют подтопление городских территорий увеличением количества непроницаемых поверхностей и геологическими условиями. В [10] считают, что подтопление вызвано истощением водоносного горизонта, отсутствием нормативного

контроля и несогласованностью методов управления. В [11] считают, что глинистая почва, неправильное управление оросительной водой и вогнутый рельеф местности являются основными причинами подтопления.

Благодаря детальному анализу были выделены 10 основных причин подтопления городских территорий (Рисунок 1), которые наиболее часто упоминались в научных публикациях [1-11] и имеют значительное воздействие на возникновение подтоплений.

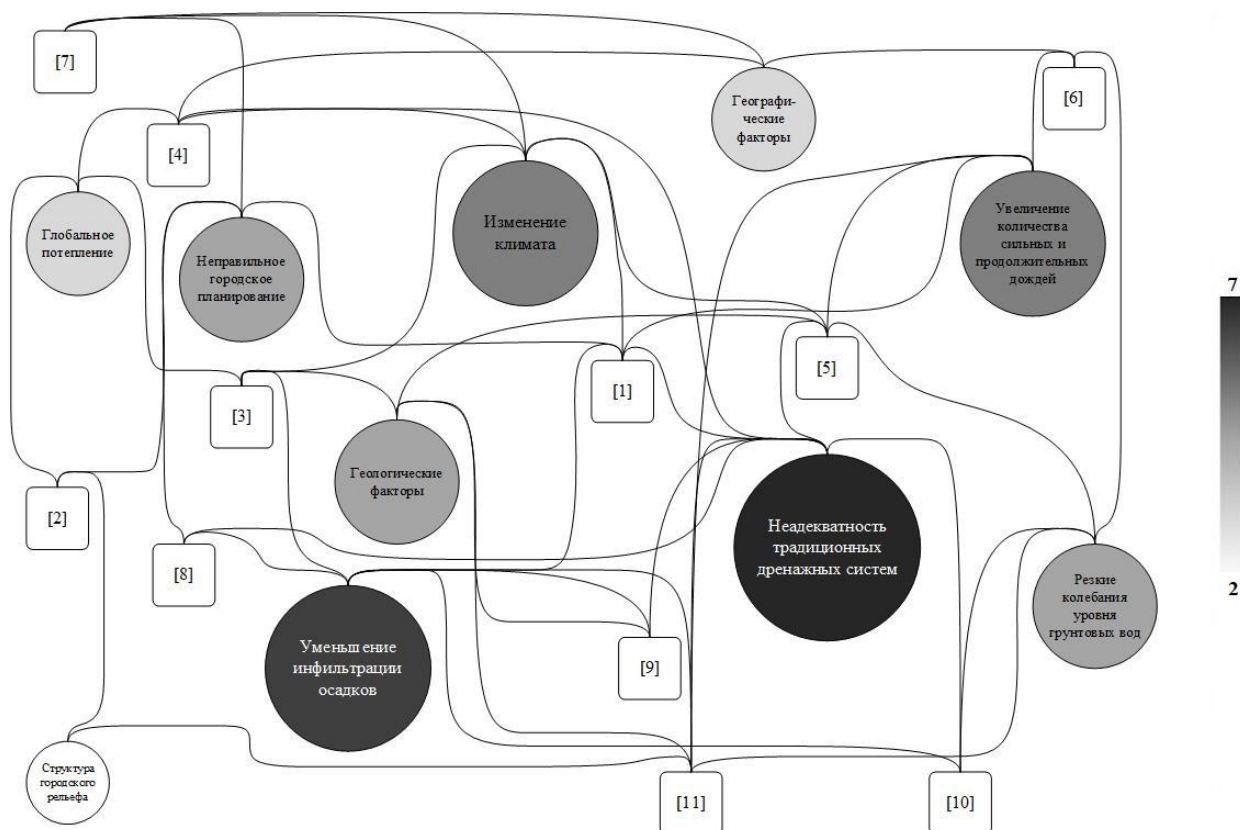


Рисунок 1. Основные причины подтопления городских территорий [1-11].

Сетевой график на рисунке 1 представляет взаимосвязи причин подтоплений и исследований, в которых они упоминаются. Размеры окружностей указывают на частоту упоминаний причин подтопления в рассмотренных исследованиях. Значения в малых квадратах ([1]-[11]) соответствуют ссылкам на эти исследования. Всего выявлено 10 основных причин подтопления, в том числе природные и техногенные. Так, наиболее упоминаемой (8 раз) причиной, отраженной в самом большом круге, явилась ненадежность традиционных дренажных систем, что носит техногенный характер и может управляться людьми. Это обращает внимание на необходимость совершенствования существующих способов предотвращения подтоплений. В этой связи методы и технологии мониторинга уровня подземных вод приобретают особую значимость и нуждаются в тщательном анализе. В связи с чем цель данного обзора заключается в анализе существующих методов и технологий мониторинга уровня

подземных вод и их воздействие на инфраструктуру, обнаружении их недостатков и поиске возможностей для дальнейшего совершенствования.

## Методология

Сбор материалов для обзора производился с достоверных источников, таких, как Scopus, SCISPACE, ResearchRabbit, ResearchGate, Cyberleninka. Для широкого охвата подбирались материалы, в которых исследования проводились в различных городах по всему миру. Это позволило учитывать многообразие географических, климатических, социальных и экономических условий. Ключевыми словами для поиска являлись: «подтопления», «причина подтопления», «мониторинг воды», «анализ методов», «традиционные методы», «современные методы», «прогнозирование», «решение проблемы», «IoT», «ГИС», «БПЛА», «МО» и «ИИ». Для сужения поиска использовались различные фильтры, например, по годам публикации и по типу документов. Большая часть информации была получена на английском языке. Приоритетом были публикации за последние 10 лет в области мониторинга подземных вод и технологий, связанных с инфраструктурой, чтобы отражать современные подходы к решению проблемы подтопления. Данные критерии включают в себя публикации, которые были опубликованы в период с 2015 по 2024 года и другие работы, относящиеся к этому периоду. В общем для включения в обзор было рассмотрено 200 научных публикаций, которые были разделены на основе тематического анализа и целей исследования каждой статьи на 5 групп (рисунок 1).

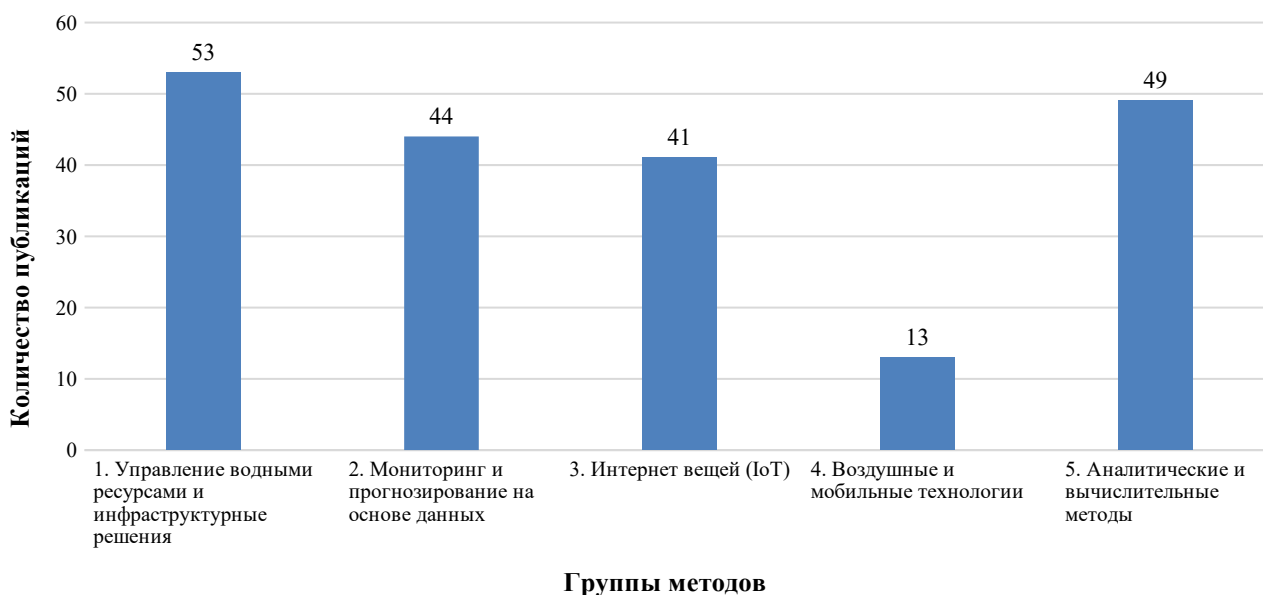


Рисунок 2. Группы методов решения проблем подтопления.

Согласно рисунку 2, основную долю (26%) занимают публикации, связанные с управлением водными ресурсами и инфраструктурными решениями. На следующем месте (25%) расположены публикации, посвященные аналитическим и вычислительным методам на базе машинного обучения (МО) и ИИ. Мониторинг и прогнозирование на

основе данных (22%) и IoT и датчики (20%) показывают схожие доли с разницей в 2%. Малая доля (7%) приходится на воздушные и мобильные технологии.

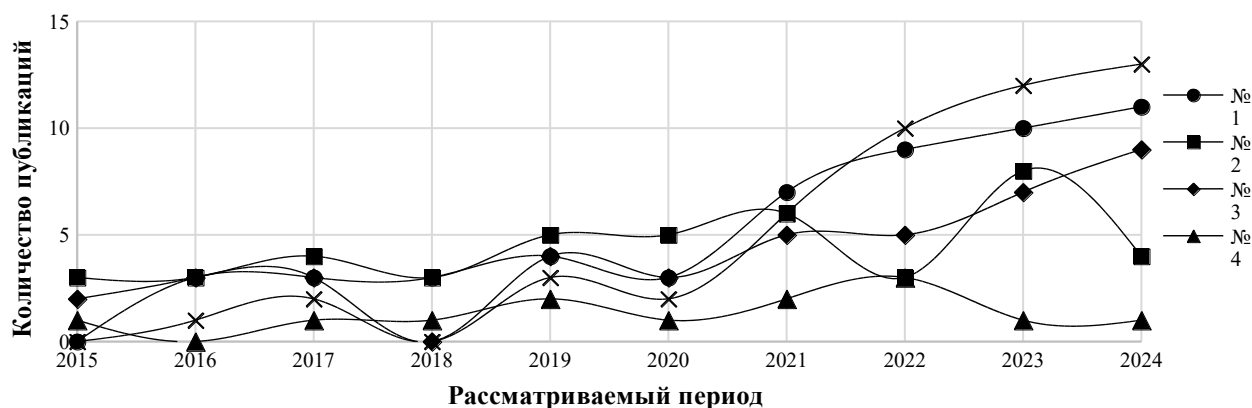


Рисунок 3. Количество публикаций за последние 10 лет по группам методов.

Из рисунка 3 видно, что количество научных публикаций в каждом году устойчиво увеличивалось, особенно в 2022-2024 годах. Все группы методов с 2015 по 2021 годы были в основном стабильны. Это демонстрирует, что проблема подтопления становится все актуальнее год за годом.

Рисунок 4 ниже показывает прогноз изменения количества научных публикаций по различным группам методов решения проблем подтопления городских территорий на период с 2025 по 2034 годы. Прогноз статистических значений выполнен с помощью инструмента «Лист прогноза» в Microsoft Excel, использующего метод экспоненциального сглаживания (ETS) с учетом доверительного интервала 95%.

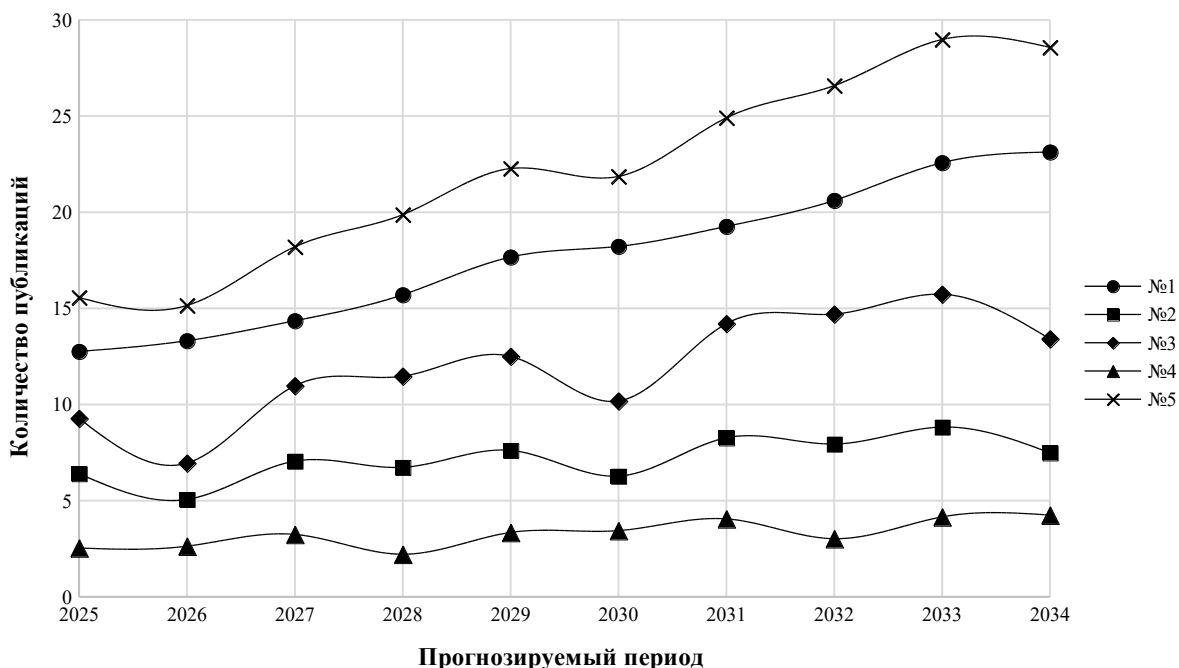


Рисунок 4. Прогноз количества публикаций на 10 лет по группам методов.

Прогноз демонстрирует, что количество научных публикаций продолжит расти по всем группам методов. В среднем за 10 лет наблюдается более чем двукратный рост общего количества публикаций. Причем наибольший ежегодный средний прирост наблюдается у группы №5, а ежегодный средний прирост у групп №1-4 хуже в 1,5, 12, 3 и 8 раз, соответственно.

## **Результаты и Обсуждение**

### **Управление водными ресурсами и инфраструктурные решения**

Управление водными ресурсами и инфраструктурные решения – это подход, который направлен на снижение риска подтоплений через природные и инженерные методы. Оно может включать применение дренажных систем, систем инфильтрации, удержания воды и концепцию «Sponge City». Эти решения помогают улучшению инфраструктуры и увеличению устойчивости экосистем.

Авторы [1] предлагают концепцию «Sponge City» как комплексный метод решения проблем подтопления городов, который был представлен в Китае в 2014 году. Этот подход направлен на использование природных процессов, улучшение городского дизайна и изучение конкретных примеров для создания устойчивой городской среды, способной эффективно справляться с обильными осадками. Он также учитывает такие проблемы, как высокая стоимость, необходимость технического обслуживания, ограниченность пространства, проблемы общественного признания, потенциальное неравенство и изменчивость климата.

Согласно [2], методы, используемые в зарубежных странах для решения проблемы подтопления городов, включают в себя сочетание информированности, регулирования, планирования, технологий, управления рисками, сотрудничества и вовлечения общественности. Есть и недостатки, такие, как высокая стоимость, сложность координации, технологическая зависимость, нормативные препятствия, проблемы информирования общественности, воздействие на окружающую среду и потенциальная краткосрочная направленность.

Авторы [3] считают, что сочетание метода инфильтрации и метода удержания будет наиболее эффективной стратегией для решения проблемы подтопления городских территорий. Метод инфильтрации предназначен для пополнения подземных стоков и грунтовых вод, а метод удержания задерживает дождевую воду, чтобы уменьшить ее отток. Авторы признают, что есть трудности с внедрением этих методов, такие, как необходимость значительного финансирования, неизвестность затрат на обслуживание, отсутствие данных об эффективности, а также отсутствие взаимопонимания среди стейкхолдеров и тесного сотрудничества.

Авторы [4] использовали сочетание контролируемого дренажа, имитационного моделирования, оптимизации дренажных сооружений, оценки комбинированных методов дренажа и инновационных систем, таких, как автономные канавы-пруды, для решения проблемы заболачивания в сельском хозяйстве. В целом к недостаткам можно отнести сложность управления, эксплуатационные расходы, непостоянство эффективности и экологические проблемы.

В статье [8] авторы использовали сочетание концепции двойного ремонта городских территорий, гидравлического моделирования и комплексной схемы планирования дренажа для предотвращения проблемы подтопления. Однако эта концепция может столкнуться с проблемами, связанными со сложностью, потребностью в ресурсах, зависимостью от данных.

Таким образом, традиционные методы управления водными ресурсами и инфраструктурные решения, такие, как концепция *Sponge City* и дренажные системы, направлены на увеличение естественной инфильтрации и удержание воды. Однако их реализация часто сталкивается с высокими финансовыми затратами, необходимостью технического обслуживания и сложностью интеграции в уже существующую городскую инфраструктуру.

### Мониторинг и прогнозирование на основе данных

Для мониторинга и прогнозирования на основе данных, для решения проблем подтопления городских территорий все чаще используют современные технологии, такие, как геоинформационные системы (ГИС), дистанционное зондирование (ДЗ) и глобальные навигационные спутниковые системы. Эти технологии позволяют результативно передавать, собирать, анализировать и визуализировать данные, чтобы принять своевременные решения.

Авторы [10] предлагают решать проблему подтопления с помощью комплексного подхода к управлению, включающего создание единой базы данных, картирование в ГИС (метод ДЗ для анализа и визуализации), применение геотехнологий и междисциплинарной методологии, направленной на улучшение городского дренажа и управления водными ресурсами. К недостаткам предлагаемого подхода можно отнести ограниченность и зависимость от существующих данных, ресурсоемкость, интеграции базы данных и сложность городских систем.

Авторы [12] объединили качественные и количественные методы, включая сбор первичных данных, инструментальную съемку, ДЗ, методы ГИС и экономические оценки, чтобы всесторонне рассмотреть проблему подтопления. Эти методы также имеют ограничения, которые могут повлиять на точность и применимость полученных результатов.

Методы, которые были использованы в работе [13], также представляют собой комплексный подход. Он включает в себя ДЗ, вспомогательные данные, цифровые модели рельефа (ЦМР) высокого разрешения с улучшенной возможностью моделирования испарения для более точного мониторинга и управления процессом подтопления. Данный подход также может быть связан с такими проблемами, как сложность интеграции данных и их стоимость, зависимость от технологий, вероятность перегрузки данных и вариативность точности применяемых датчиков и их сложность.

Авторы статьи [14] использовали сочетание методов технологий ДЗ и статистического анализа данных для решения проблемы подтопления, вызванного наводнением. Методы направлены на улучшение мониторинга и управления, тем самым уменьшая

их воздействие на окружающую среду. Потенциальные недостатки, связанные с этими методами включают: низкая квалификация персонала, ограничения по разрешению (спутниковые снимки могут не фиксировать изменения уровня воды), погодные условия (облачность) могут препятствовать спутниковым наблюдениям.

В статье [15] авторы использовали комплексный подход, сочетающий методы ДЗ, ГИС и моделирование грунтовых вод для решения проблемы подтопления. Они использовали метод нормализованного индекса разности воды (NDWI), чтобы выявить зоны поверхностного подтопления территории на основе данных оптического спутника ДЗ, а также оценить условия подтопления с помощью моделирования потока подземных вод. В работе использовали полученные данные и обработали снимки Sentinel 2 MSS для выделения пикселей воды. Также использовали изображения SAR со спутника Sentinel 1A для устранения ограничений, связанных с оптическими снимками. Комплексный метод имеет недостатки: низкое качество данных и снимков, ограничения моделирования подземных вод, сложность интеграции.

Современные технологии мониторинга и прогнозирования на основе данных, такие, как ГИС, ЦМР и ДЗ, позволяют эффективно собирать, анализировать и визуализировать данные о подтопленных территориях, предоставляя детализированные карты и модели. Недостатками таких решений являются их зависимость от объема и качества исходных данных, высокая стоимость, сложность интеграции, а также зависимость от технического оснащения.

### Интернет вещей

IoT – это сеть устройств, которые через интернет обмениваются информацией и данными.

Подход авторов [16] включает в себя два главных компонента: система мониторинга вод и автоматизированная система осушения. Система мониторинга вод применяет технологии IoT и интегрированные системы для мониторинга уровня воды в режиме реального времени, а также во время превышения уровня воды система отправляет SMS-сообщения на мобильные устройства пользователей, чтобы предупредить их об этом. Автоматизированная система осушения при достижении водой определенного уровня автоматически активируется для ее удаления. Это достигается за счет использования датчиков уровня, контроллеров и двигателей, при этом не прибегая к помощи человека. Есть несколько потенциальных недостатков, такие, как факторы окружающей среды, требования к обслуживанию, высокая стоимость и ограниченность бюджета.

Авторы статьи [17] объединили 2 метода: IoT и ИИ. Они использовали ультразвуковые датчики, датчики влажности, давления, расхода воды и датчик температуры. Для обнаружения людей использовали модель You Only Look Once (YOLO). YOLO – это известная модель для обнаружения людей и объектов на изображениях в реальном времени. Также для обнаружения подтоплений использовали TensorFlow. Данные от датчиков обрабатывались и анализировались в режиме реального времени, отображались на онлайн- платформе и были доступны всем. Для отправки мгновенных предупреждений



гражданским лицам и властям о надвигающихся подтоплениях и их локации они использовали приложение Telegram. Есть и недостатки, такие, как постоянное и качественное подключение к интернету, низкое качество видео, дорогостоящие аппараты, датчики и технологии, быстрые изменения погодных условий.

Авторы [18] предложили новый подход к решению проблемы подтопления. Они использовали технологию Long Range (LoRa) для создания глобальной информационной сети, чтобы передавать данные на большие расстояния. Для сбора данных использовали датчики с низким потреблением. Для обработки полученных данных использовали микроконтроллеры серии STM32. Эти микроконтроллеры облегчили управление потоком информации от датчиков к центральным процессорам, обеспечивая эффективную обработку данных. Все данные передавались на терминалы обработки информации. Авторы использовали технологию цифрового картирования для создания интуитивно понятных карт представлений об условиях подтопления. Эти карты помогали точно и доступно показывать уровень воды в различных точках. Объединяя данные об уровне воды из разных точек, система стремится повысить специфичность и точность мер по предотвращению и борьбе с подтоплением. Среди потенциальных недостатков можно отметить то, что датчики и микроконтроллеры требуют регулярного технического обслуживания и калибровки, могут быть ресурсоемкими, и существует возможность перегрузки данных.

В [19] авторы предложили систему мониторинга на основе IoT, чтобы прогнозировать уровень воды в режиме реального времени. Авторы использовали датчики, чтобы измерять уровень воды. Для повышения надежности и точности измерений дополнительно использовались ультразвуковые датчики. В систему интегрирован модуль GPS, чтобы точно определять подтопляемые территория. Через специальный веб-сайт система передает данные в режиме реального времени. Для хранения всех данных автоматически создается облачный сервер. Среди некоторых недостатков системы: необходимость калибровки данных, обслуживания датчиков, окружающие факторы, конфиденциальность и безопасность данных.

Авторы [20] предлагают решать проблему подтоплений, разработав систему на базе IoT, которая сочетает в себе постоянный мониторинг уровня воды в реальном времени, точно измеряющие передовые датчики, беспроводную связь для быстрой и эффективной передачи данных, собранных датчиками, анализ данных для оценки риска и эффективный механизм оповещения, чтобы уведомлять жителей и власти, направленные на улучшение прогнозирования подтоплений и мер по их ликвидации. Система также сталкивается с проблемами, связанными со стоимостью внедрения, техническим обслуживанием, конфиденциальностью и безопасностью данных, экологическими факторами, ограничениями по охвату и обучением пользователей.

Резюмируя, методы IoT и датчики обеспечивают мониторинг уровня воды в реальном времени, что повышает скорость реакции на подтопления. Для своевременного обнаружения уровня воды и автоматического реагирования, они объединяют датчики, беспроводную связь и обработку данных. Однако эти системы требуют надежного интернет-соединения и регулярного технического обслуживания, что может стать проблемой в условиях ограниченных ресурсов.

### Воздушные и мобильные технологии

Воздушные и мобильные технологии – это современные технологии, направленные на мониторинг и предупреждение подтоплений. Их использование помогает прогнозировать развитие ситуации и быстро собирать данные о подтопленных территориях.

Авторы [21] предложили комплексный метод решения проблемы подтопления. Он сочетает в себе передовые технологии связи, возможности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и мониторинг данных в режиме реального времени для эффективного решения проблем, связанных с подтоплением. Авторы разработали систему Internet-of-Vehicle (IoV) для мониторинга подтоплений и обеспечения предупреждения о бедствии. БПЛА IoV оснащены нейронной сетью для распознавания людей при спасательных операциях. Использовали технологию связи Vehicle-to-Everything (V2X) для передачи сигналов тревоги и технологии LoRa и Dedicated Short-Range Communications (DSRC) для передачи данных между датчиками, платформами данных и транспортными средствами. Система поддерживается мобильной сетью. Недостатками системы являются: дороговизна, вопросы конфиденциальности и безопасности данных, ограниченность в охвате мобильной сети.

Авторы [22] предложили решение проблемы подтопления уникальным образом, объединив технологию БПЛА с моделями глубокого обучения, что привело к созданию надежного метода обнаружения и анализа условий подтопления с высокой точностью и эффективностью. Система БПЛА с широким обзором могла выполнять аэрофотосъемку пострадавших районов для оценки условий подтопления. Модель глубокого обучения использовалась для автоматизации обнаружения подтопленных зданий на изображениях, полученных с БПЛА. Результаты эксперимента показали, что метод достиг точности 88% при обнаружении подтопленных зданий. Такой высокий результат способствует экстренному реагированию. Этот метод позволил оценить площадь подтопления зданий на основе изображений БПЛА. Предлагаемый авторами метод также сталкивается с проблемами, связанными с зависимостью от погоды, качеством данных, вычислительными мощностями, сложностью обучения модели и возможностями обработки в режиме реального времени.

Авторы [23] решали проблему подтопления, применив усложненный подход. Они использовали технологию БПЛА для получения изображений пострадавших от подтопления районов в режиме реального времени. Они реализовали подход, основанный на ИИ, который использует глубокие нейронные сети (DNN) для семантической сегментации захваченных изображений. Эта техника автоматически помогает определить районы пострадавших от подтопления. Алгоритмы были специально оптимизированы для граничных вычислительных платформ на базе GPU. Это означает, что БПЛА могут обрабатывать изображения локально, снижая потребность в облачном анализе и обеспечивая принятие решений в режиме реального времени. Авторы провели эксперименты с использованием различных аппаратных платформ, включая высокопроизводительные вычислительные системы и различные модели семейства NVIDIA Jetson. Эти эксперименты продемонстрировали возможность выполнения продвинутой обработки изображений в реальном времени с помощью решений на базе

DNN. Этот метод также сталкивается с проблемами, связанными с надежностью БПЛА, ограничениями обработки, качеством данных, ограничениями реального времени, зависимостью от сети и воздействием на окружающую среду.

Авторы [24] для решения проблемы подтопления предложили БПЛА, оборудованные разными датчиками и технологиями. Оснащенный с передовыми датчиками БПЛА мог осуществлять аэрофотосъемку и GPS-навигацию для анализа территорий, подверженных подтоплению. Для создания топографических карт районов использовалось лазерное сканирование. Это помогло обеспечить точность обнаружения изменений в ландшафте. БПЛА были настроены на следование по определенным маршрутам и мониторинг в режиме реального времени. Авторы отмечают необходимость интеграции технологии БПЛА с градостроительными нормами. Однако для эффективного применения данной технологии необходимо тщательно оценить их недостатки, которые могут включать эксплуатационные ограничения, проблемы интерпретации данных, проблемы регулирования, стоимость и потенциальное воздействие на окружающую среду.

В [25] применили многогранный подход к решению проблемы. Была предложена система, объединяющая беспроводную сенсорную сеть (WSN) и БПЛА. Такая интеграция позволяет БПЛА обеспечивать надежный сбор данных даже в тех случаях, когда сенсорные узлы оказываются под угрозой во время подтоплений. Система разработана для мониторинга в режиме реального времени и оперативного реагирования. Авторы разработали интеллектуальный алгоритм, сочетающий групповой метод обработки данных (GMDH) и оптимизацию роя частиц (PSO). Модель используется для прогнозирования предстоящих подтоплений, повышая способность системы точно предсказывать события, связанные с подтоплением. Потенциальные проблемы предлагаемого подхода связаны с уязвимостью окружающей среды, сложностью, потребностью в ресурсах и вопросами безопасности данных.

Воздушные и мобильные технологии, используя аэрофотосъемку, лазерное сканирование, GPS-навигацию и БПЛА с современными датчиками для сбора данных в режиме реального времени, могут мониторить, предупреждать и обнаруживать подтопления. Однако эти технологии зависят от погодных условий и имеют высокую стоимость и сложность в обработке данных.

#### Аналитические и вычислительные методы

Авторы [26] для решения проблемы подтопления использовали новый подход, сочетающий ИИ и численное моделирование. Сочетание нейронной сети с долговременной памятью (LSTM) и цифровой имитационной модели позволило точно и эффективно прогнозировать глубину подтопления городских территорий. Численная модель была использована для расчета и моделирования глубины. Данные, которые были получены с помощью численной модели, послужили обучающими выборками для LSTM. Нейронная сеть была обучена прогнозировать и моделировать процесс подтопления на основе этих данных. Двойная модель может предсказывать глубину подтопления в 324 000 раз быстрее, чем сама численная модель. Недостатки этой системы - может включать постоянный доступ к интернету, дороговизну, зависимость от качества входных данных.

Авторы [27] рассматривают интеграцию ИИ и МО для облегчения создания точных карт территорий, подверженных подтоплениям. Авторы рассказывают об использовании

алгоритмов МО при разработке систем раннего оповещения. Они использовались для прогноза подтопления, анализируя исторические данные и текущие погодные условия. Методы МО также применялись для оценки риска подтоплений. Анализировались различные факторы, такие, как топография, тип почвы и землепользование. Авторы упоминают об инновационном использовании социальных сетей и сенсорных данных для сбора информации о состоянии подтопления в режиме реального времени. Эти технологии также сопряжены со значительными трудностями, включая сложность моделей, риск перебора, проблемы интеграции, этические аспекты и потребность в ресурсах.

Авторы статьи [28] использовали комбинацию технологий ДЗ и алгоритмов машинного обучения для решения проблемы подтопления. В исследовании использовались спутниковые снимки Sentinel-1 (SAR) и Sentinel-2 (оптические) и данные ЦМР. Авторы использовали 2 алгоритма МО: Gradient Boosting (GB) и Random Forest (RF). Алгоритмы были применены для классификации данных. Это позволило эффективно обнаружить подтопленные территории. В общем было проанализировано 16 различных комбинаций данных для оценки эффективности моделей МО. Этот метод сталкивается с проблемами, связанными с качеством данных, сложностью окружающей среды, сложностью данных SAR, необходимостью проверки, потребностью в ресурсах и потенциальной перестройкой.

Решение авторов [28] сочетает в себе современные методы моделирования и практические стратегии сбора данных для эффективного прогнозирования глубины подтопления. Авторы использовали комбинацию темпоральных конволюционных сетей (TCN) и LSTM. Эта гибридная модель предназначалась для эффективной обработки данных, что очень важно для прогнозирования глубины подтопления на основе исторических данных. Авторы разработали специализированную станцию мониторинга, объединяющую автоматический дождемер и водомер. Данная станция, используя различные источники, регулярно собирала информацию о количестве осадков и глубине подтопления из разных мест, предоставляя важные гидрологические данные для модели. Авторы подчеркнули, что модель TCN-LSTM превосходит традиционные модели МО и рекуррентные нейронные сети (RNN) по точности прогноза. Предлагаемое решение может столкнуться с проблемами, связанными с качеством данных, масштабированием, операционными требованиями, сложностью модели и потенциальной переоценкой.

Авторы [30] разработали комплексную информационную систему, направленную на эффективный мониторинг и управление подтоплениями. Авторы создали адаптивную технику ИИ, которая использует устройства IoT для сбора данных о различных факторах окружающей среды, таких, как температура и количество осадков. Исследование включает в себя систему визуализации подтоплений в режиме реального времени, чтобы отслеживать изменение уровня воды. Информация, собранная с различных IoT-устройств, компилируется и хранится в базе данных MySQL. Авторы обучили гибридную модель, используя шесть различных алгоритмов МО, чтобы на основе собранных данных прогнозировать подтопления. Система может иметь недостатки, связанные с безопасностью данных, стоимостью, сложностью системы, воздействием на окружающую среду и управлением данными.

Методы моделирования и прогнозирования на базе машинного обучения и ИИ используются для моделирования и прогнозирования подтоплений, анализируя полученные объемы данных. Это современный подход для точного прогнозирования глубины и создания карт подтоплений. Однако эти методы сопряжены с такими ограничениями, как высокая стоимость, сложность моделей и зависимость от качества данных.

#### Тренды

Для выявления трендов в работе проанализированы 200 научных публикаций, которые были опубликованы за период с 2015 года по 2024 года. Были рассмотрены материалы, касающиеся применения современных технологий мониторинга подтопляемых территорий. Материалы включали публикации из научных журналов и конференций. Основные критерии отбора включали:

- связность темы с мониторингом и управлением подтопляемыми территориями;
- упоминание современных технологий;
- указание позитивного или негативного контекста применения метода (технологий).

Каждая публикация анализировалась с точки зрения использования следующих категорий методов и технологий: 1) БПЛА; 2) Гидрологические модели; 3) системы раннего предупреждения (СРП); 4) Спутниковый мониторинг; 5) МО; 6) IoT; 7) ИИ; 8) Видеомониторинг; 9) Большие данные (Big Data); 10) Сенсоры; 11) LiDAR; 12) Интерфейсы программирования приложений (API); 13) ДЗ; 14) Облачные вычисления; 15) Социальные медиа; 16) ГИС.

В публикациях анализировалось количество упоминаний каждой из вышеперечисленных методов и технологий с указанием их контекста:

- позитивный контекст: использование технологии для успешного решения задач, связанных с мониторингом или предотвращением подтоплений;
- негативный контекст: критика или указание на ограничения технологий.

Рисунок 5 показывает количество проанализированных статей за каждый год.



Рисунок 5. Количество проанализированных статей за последние 10 лет.

Для обработки данных применялись методы контент-анализа. Каждая публикация была изучена на предмет частоты упоминания метода (технологии), а также их распределения по позитивному и негативному контексту.

На основе анализа была составлена таблица, в которой указано количество упоминаний каждой технологии в позитивном и негативном контексте по годам. Это позволило выявить основные тренды в области мониторинга подтопляемых территорий и оценить эффективность различных подходов.

Рисунок 6 представляет суммарное количество упоминаний в разрезе технологий, а также их распределение по годам, разделенных по позитивному, негативному и совокупному контекстам.

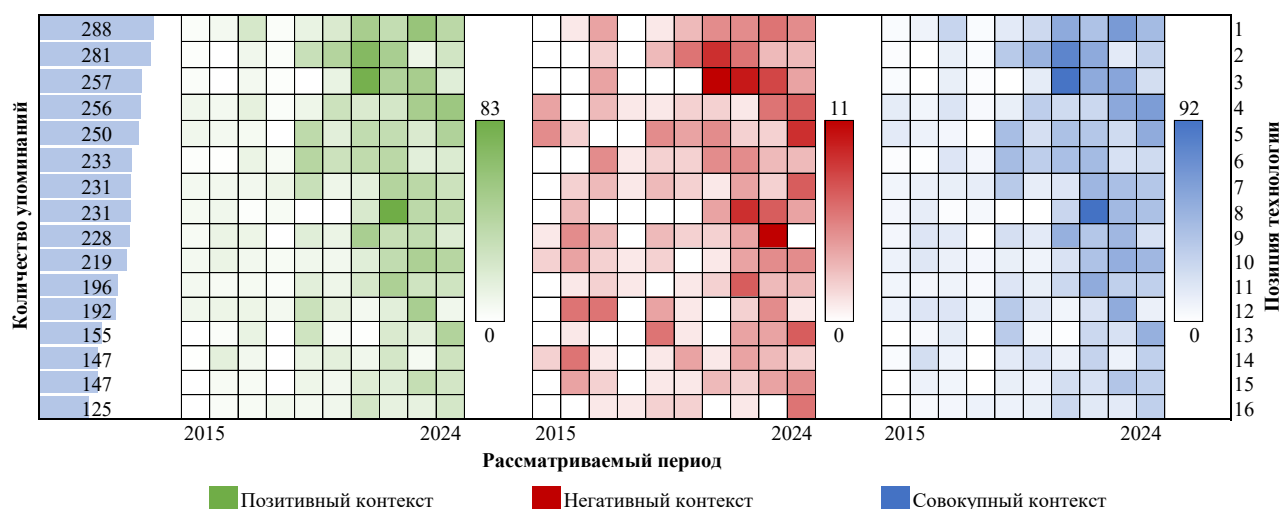


Рисунок 6. Тепловая карта, отображающая тренды технологий по годам.

Рисунок 6 показывает тренды по популярности различных технологий, диктуемые исследованиями 2015-2024 годов. Отображены 3 тепловые карты, соответствующие упоминаниям технологий в позитивном, негативном и совокупном контексте, соответственно. При этом более темные и насыщенные оттенки цвета указывают на более высокую частоту упоминания соответствующей технологии в указанный год. Благодаря данной визуализации, можно легко отслеживать тенденции в исследовательской деятельности, направленные на решение проблем подтопления, и находить те ключевые направления, которые стали более актуальными за последние годы. Рисунок 6 также отображает общее количество упоминаний различных технологий за весь 10-тилетний период. Так, наибольшее внимание привлекли такие технологии, как БПЛА, гидрологические модели, спутниковый мониторинг и МО, что указывает на их центральную роль в современных исследованиях. Среднее количество упоминаний наблюдается у IoT, видеомониторинга, сенсоры, LiDAR, большие данные и ИИ, что свидетельствует о стабильном интересе к этим технологиям. Реже обсуждаются ГИС, ДЗ, облачные вычисления, API и социальные медиа, вероятно, из-за их более узкого применения.

На рисунке 8 представлен прогноз количества упоминаний о различных технологиях на 2025-2034 годы.

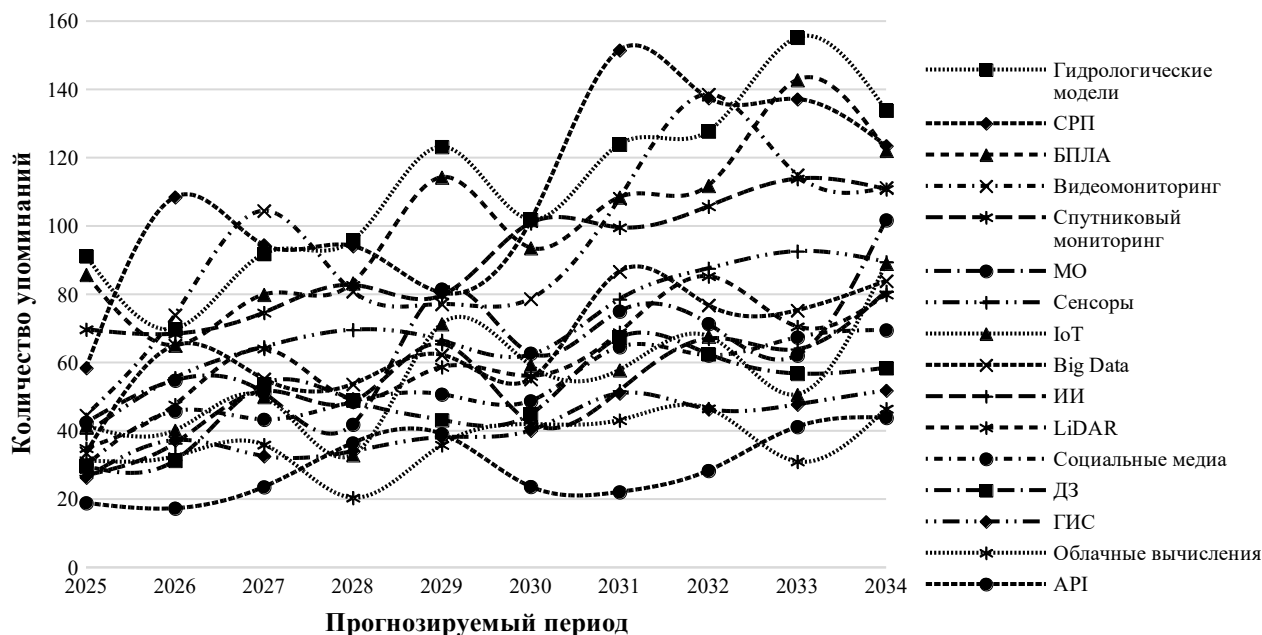


Рисунок 7. Прогноз количества упоминаний на ближайшие 10 лет.

По рисунку 7 видно, что самый значительный рост популярности ожидается у гидрологических моделей, систем раннего оповещения и БПЛА. Видеомониторинг, спутниковый мониторинг и МО также вырастут в популярности, с меньшими темпами. Что касается технологий, связанных с сенсорами, IoT, Big Data, ИИ, LiDAR и социальные медиа, то ожидается, что они сохранят стабильный рост популярности, демонстрируя устойчивый интерес. Таким образом, график раскрывает тенденцию и потенциал современных технологий для мониторинга, управления и предотвращения подтоплений.

### Заключение

Анализ существующих современных методов мониторинга подтопляемых территорий выявил широкий спектр технологий, активно применяемых для снижения рисков и последствий подтоплений. Ключевую роль играют ГИС, ДЗ, IoT, сенсоры, БПЛА, а также аналитические и вычислительные подходы, основанные на ИИ и МО. Эти методы становятся все более актуальными ввиду глобального изменения климата, темпа урбанизации и учащения экстремальных погодных явлений.

Исследования отмечают, что использование современных технологий не только позволяет выявлять зоны риска, повышать точность и эффективность мониторинга, но и разрабатывает результативные решения для защиты инфраструктуры и населения от подтопления. Однако несмотря на прогресс в их применении, существуют определенные ограничения, такие, как дороговизна, сложность интеграции данных, зависимость

от качества данных, зависимость от погодных условий, необходимость технического обслуживания и т.д.

По анализу предлагаемых решений выявлено, что наиболее перспективным является интеграция между собой таких технологий, как ГИС и ДЗ, ДЗ и ЦМР, IoT и ИИ, БПЛА и ИИ, БПЛА и датчики, ИИ и МО, МО и ДЗ. Она может обеспечить точное прогнозирование, моделирование и реагирование в режиме реального времени. Эти комплексные подходы и решения демонстрируют потенциал для значительного уменьшения ущерба от подтоплений и быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации.

Анализ трендов показывает, что в ближайшие годы будет расти популярность рассмотренных технологий. Прогнозируемый рост числа публикаций с упоминанием современных технологий указывает на их возрастающую роль.

Разработанные тепловые карты и выполненные прогнозы на ближайшие 10 лет акцентируют важность интеграции новых подходов. Это позволит обеспечить максимальную точность и эффективность мониторинга подтоплений, а также своевременность реагирования. Важно учитывать особенности каждой технологии и развивать стандарты ее применения в зависимости от климатических, географических, экономических и экологических условий.

Таким образом, дальнейшее развитие в этой области требует не только технического совершенствования, но и международного сотрудничества, инвестиций в обучение специалистов и адаптацию технологий для локальных условий. Это обеспечит устойчивое развитие инфраструктуры и минимизацию последствий подтоплений.

### **Источник финансирования**

Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26195425).

### **Вклад авторов**

**Мухамеджанова А.Т.** – методология, утверждение окончательной версии;

**Кажимканулы Д.** – сбор и анализ данных, написание текста, дизайн;

**Утепов Е.Б.** – концепция, интерпретация результатов работы;

**Анискин А.** – критический пересмотр, редактирование.

### **Список литературы**

1. Urban waterlogging mitigation based on the concept of sponge city / C. Xi, N. Sakai // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – Т. 1144, № 1. – С. 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1144/1/012010>
2. Experience and enlightenment of urban waterlogging disaster prevention in foreign countries / J. Lu, F. Li, Y. Wang // E3S Web of Conferences. – 2022. – Т. 352. – С. 03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235203010>
3. Analysis of urban waterlogging causes and LID techniques / B. Jiang // Highlights in Science, Engineering and Technology. – 2022. – Т. 5. – С. 244–249. <https://doi.org/10.54097/hset.v5i.749>
4. Excessive Water and Drainage Management in Agriculture: Disaster, Facilities Operation and Pollution Control / S. Wang, J. Xu // Water. – 2022. – Vol. 14, No. 16. – P. 2500. <https://doi.org/10.3390/w14162500>



5. WATERLOGGED SOILS: CAUSES, CHALLENGES AND MANAGEMENT STRATEGIES / A. Patra, R.P. Singh, B.K. Singh, M.S. Kundu, G. Kumar, S. Mukherjee // *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Volume 3 Book 19* Iterative International Publisher, Selfypage Developers Pvt Ltd, 2024. – C. 49–58. <https://doi.org/10.58532/V3BCAG19P3CH1>
6. Effects of changing atmospheric circulation patterns on waterlogging potential in Southeast Europe / M. Mesaroš, D. Pavić, I. Leščešen. — 2023. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-14880>
7. Water Logging in South-Western Coastal Region of Bangladesh: Causes and Consequences and People's Response / M.A. Awal, A.F.M.T. Islam // *Asian Journal of Geographical Research*. – 2020. – C. 9–28. <https://doi.org/10.9734/ajgr/2020/v3i230102>
8. Comprehensive planning of drainage and waterlogging prevention layout based on urban double repair concept / Q. Xu, P. Chen // *Desalination and Water Treatment*. – 2022. – Vol. 268. – P. 285–295. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28701>
9. Analyzing the causes of urban waterlogging and sponge city technology in China / Y.-F. Ning, W.-Y. Dong, L.-S. Lin, Q. Zhang // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017. – T. 59. – C. 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/59/1/012047>
10. Use of geotechnologies in integrated assessment of urban drainage, water resources and urbanization / E. Pacheco, A. Finotti // *International Journal of Sustainable Development and Planning*. – 2015. – Vol. 10, No. 4. – P. 453–466. <https://doi.org/10.2495/SDP-V10-N4-453-466>
11. Reclamation of Waterlogged Lowland in Indo-Gangetic Alluvial Plains Using Some Biodrainage Species / M. Banik, A. Sarkar, P. Ghatak, R. Ray, S.K. Patra // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2018. – T. 7, № 2. – C. 1028–1038. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.127>
12. Drainage induced waterlogging problem and its impact on farming system: a study in Gosaba Island, Sundarban, India / S. Ghosh, B. Mistri // *Spatial Information Research*. – 2020. – Vol. 28, No. 6. – P. 709–721. <https://doi.org/10.1007/s41324-020-00328-8>
13. Towards Monitoring Waterlogging with Remote Sensing for Sustainable Irrigated Agriculture / N. Den Besten, S. Steele-Dunne, R. De Jeu, P. Van Der Zaag // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13, No. 15. – P. 2929. <https://doi.org/10.3390/rs13152929>
14. Flood Monitoring Based on Remote Sensing of the Earth / L. Pavlova, D. Shaimardanov, A. Atnabaev, D. Mukhametov // *Bulletin of Science and Practice*. – 2024. – Vol. 10, No. 7. – P. 82–85. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/104/11>
15. An integrated approach for identification of waterlogged areas using RS and GIS technique and groundwater modelling / S. Kaushik, P.R. Dhote, P.K. Thakur, B.R. Nikam, S.P. Aggarwal // *Sustainable Water Resources Management*. – 2019. – Vol. 5, No. 4. – P. 1887–1901. <https://doi.org/10.1007/s40899-019-00342-1>
16. Hydro-Sentinel: Flood Water Observation and Extraction System / J. Karthikeyan, B. Khan L, P. Kumar, G. Supraja // *2024 International Conference on Signal Processing, Computation, Electronics, Power and Telecommunication (IConSCEPT)*. – Karaikal, India: IEEE, 2024. – C. 1–6. <https://doi.org/10.1109/IConSCEPT61884.2024.10627873>
17. Flood Guard: A Holistic Approach with IoT and AI Technologies / J. Gupta // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. – 2024. – T. 12, № 6. – C. 1005–1010. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.61979>
18. Urban waterlogging monitoring system based on LoRa technology / F. Shao, P. Zeng // *ITM Web of Conferences*. – 2022. – T. 47. – C. 01019. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20224701019>

19. Real-Time IoT Based Urban Street Water-Logging Monitoring System Using Google Maps / Md.I. Malek, R. Nanjiba, Z. Nayeem // 2020 2nd International Conference on Image Processing and Machine Vision. – Bangkok Thailand: ACM, 2020. – P. 100–104. <https://doi.org/10.1145/3421558.3421574>
20. IOT-Based Flood Monitoring and Alarm System / Prof.V. Kumar, Mr.N. Kadnar, Mr.A. Gosavi, Mr.O. Jadhav // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. — 2023. – T. 11, № 5. – С. 5142–5146. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.52858>
21. UAV Integrated Internet-of-Vehicle (IoV) System for Flooding Monitoring and Rescue / B. Liu, F. Ayaz, H.D. Anh, O. Edwards, Y. Zeng, Z. Sheng, X. Duan, D. Tian // Proceedings of 2022 International Conference on Autonomous Unmanned Systems (ICAUS 2022): Vol. 1010: Lecture Notes in Electrical Engineering. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. – P. 1004–1014. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-0479-2\\_91](https://doi.org/10.1007/978-981-99-0479-2_91)
22. Flood Detection Based on Unmanned Aerial Vehicle System and Deep Learning / K. Yang, S. Zhang, X. Yang, N. Wu // Complexity. – 2022. – Vol. 2022, No. 1. – P. 6155300. <https://doi.org/10.1155/2022/6155300>
23. Flood Detection Using Real-Time Image Segmentation from Unmanned Aerial Vehicles on Edge-Computing Platform / D. Hernández, J.M. Cecilia, J.-C. Cano, C.T. Calafate // Remote Sensing. – 2022. — Vol. 14, No. 1. – P. 223. <https://doi.org/10.3390/rs14010223>
24. The use of unmanned aerial vehicles for forecasting and preventing floods / D. Gura, P. Malimonenko, N. Dyakova, A. Solodunov // E3S Web of Conferences. – 2021. – T. 258. – C. 02028. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125802028>
25. Real-Time and Intelligent Flood Forecasting Using UAV-Assisted Wireless Sensor Network / S. Goudarzi, S. Ahmad Soleymani, M. Hossein Anisi, D. Ciunzo, N. Kama, S. Abdullah, M. Abdollahi Azgomi, Z. Chaczko, A. Azmi // Computers, Materials & Continua. – 2022. – Vol. 70, No. 1. – P. 715–738. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.019550>
26. Intelligent Prediction Method for Waterlogging Risk Based on AI and Numerical Model / Y. Liu, Y. Liu, J. Zheng, F. Chai, H. Ren // Water. – 2022. –Vol. 14, No. 15. – P. 2282. <https://doi.org/10.3390/w14152282>
27. Intelligent Solutions for Flood Management: Integrating Artificial Intelligence and Machine Learning / N.G. Paswan, L.K. Ray // Big Data, Artificial Intelligence, and Data Analytics in Climate Change Research: Advances in Geographical and Environmental Sciences. — Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. — P. 43–55. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-1685-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-97-1685-2_3)
28. Flooded Extent and Depth Analysis Using Optical and SAR Remote Sensing with Machine Learning Algorithms / J. Soria-Ruiz, Y.M. Fernandez-Ordoñez, J.P. Ambrosio-Ambrosio, M.J. Escalona-Maurice, G. Medina-García, E.D. Sotelo-Ruiz, M.E. Ramirez-Guzman // Atmosphere. – 2022. – Vol. 13, No. 11. – P. 1852. <https://doi.org/10.3390/atmos13111852>
29. A novel approach based on TCN-LSTM network for predicting waterlogging depth with waterlogging monitoring station / J. Yao, Z. Cai, Z. Qian, B. Yang // PLOS ONE. – 2023. – Vol. 18, No. 10. – P. e0286821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286821>
30. Information system for flood monitoring based on IoT and AI / A.J. Wilson, A. Pon Bharathi, M. Anoop, J. Angelin Jeba Malar // 2023 2nd International Conference on Smart Technologies and Systems for Next Generation Computing (ICSTSN). – Villupuram, India: IEEE, 2023. – C. 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSTSN57873.2023.10151466>

А.Т. Мухамеджанова<sup>1</sup>, Д. Қажимқанұлы<sup>1</sup>, Е.Б. Утепов<sup>1</sup>, А. Анискин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup>Солтүстік Университеті, Вараждин, Хорватия

### Су басқан аумақтарды бақылаудың заманауи технологиялары және олардың инфрақұрылымға әсері

**Аңдатпа.** Бұл шолу мақаласы сулы-батпақты жерлерді бақылаудың заманауи технологияларын және олардың инфрақұрылымға әсерін талдауға бағытталған. Қаралған мақалалардың ерекшелігі шолу құрылымын қалыптастыратын 5 негізгі санатты анықтауға мүмкіндік берді, оның ішінде су ресурстарын басқару және инфрақұрылымдық шешімдер; деректерге негізделген мониторинг және болжау; Заттар Интернеті (IoT); әуедегі және мобильді технологиялар; аналитикалық және есептеу әдістері. Шолу үшін мақалаларды таңдау кезінде заманауи шешімдерді ұсынатындар артықшылыққа ие болды, соның ішінде Географиялық Ақпараттық Жүйелер (ГАЗ), Қашықтықтан Зондтау (ҚЗ), IoT, Ұшқышсыз Ұшу Аппараттары (ҰҰА), Машиналық Оқыту (МО) және Жасанды Интеллект (ЖИ). Осы шешімдерге талдау жасалып, олардың кемшіліктері анықталды. Шолу кешенді шешімдер су басқан аумақтарды нақты уақыт режимінде тиімдірек және дәлірек бақылауды, болжауды және анықтауды қамтамасыз ететінін анықтады. Шолу мониторинг, тәуекел аймақтарын болжау және батпақты жерлерді анықтау үшін тиімдірек және дәлірек жүйелерді құру үшін әртүрлі заманауи технологияларды біріктірудің маңыздылығын көрсетеді. Су басқан аумақтарды бағалау үшін ЖИ мен ҰҰА, нақты уақыт режимінде су деңгейін бақылау үшін ЖИ мен IoT және су тасқыны қаупін болжау үшін ЖИ мен МО пайдалану сияқты кешенді шешімдерді қолдануға ерекше назар аударылады. Соңғы 10 жылдағы жарияланымдарды талдау климаттың өзгеруі, урбанизация және ауа-райының күрт өзгеруі жағдайында батпақтанудың өзектілігінің және шешілуінің қиындығының артуына байланысты шешімдерге деген қызығушылықтың айтарлықтай артқанын көрсетеді. Болашақта мұндай тәсілдер су тасқыны қаупін басқару, халықты және инфрақұрылымды қорғау стратегияларын әзірлеуде шешуші рөл атқарады деп болжануда.

**Түйінсөздер:** субасу, мониторинг, заманауи технологиялар, тәуекелді бағалау, инфрақұрылым.

A.T. Mukhamejanova<sup>1</sup>, D. Kazhimkanuly<sup>1</sup>, Ye.B. Utepov<sup>1</sup>, A. Aniskin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>University North, Varaždin, Croatia

### Modern technologies for monitoring waterlogged areas and their impact on infrastructure

**Abstract.** This review article analyzes modern technologies for monitoring waterlogged areas and their impact on infrastructure. The specificity of considered articles led to determining 5 main categories that formed the structure of the review, including water management and infrastructure solutions; data-driven monitoring and forecasting; Internet of Things (IoT); airborne and mobile technologies; analytical and computational methods. When selecting articles for review, those that offer modern solutions had

an advantage, including Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing (RS), IoT, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), Machine Learning (ML), and Artificial Intelligence (AI). An analysis of these solutions has been carried out and their disadvantages have been identified. The review revealed the integrated solutions provide more efficient and accurate real-time monitoring, prediction, and detection of waterlogged areas. The review highlights the importance of integrating various modern technologies to create more efficient and accurate systems for monitoring, predicting risk zones, and detecting waterlogged areas. Particular attention is paid to the application of integrated solutions such as the use of UAV with AI for flooded area estimation, IoT with AI for real-time water level monitoring, and ML with AI for flood risk prediction. An analysis of publications over the last 10 years shows a significant increase in interest in these solutions due to the increasing relevance and difficulty of waterlogging problem solutions in the face of climate change, urbanization, and extreme weather events. It is predicted that in the future such approaches will play a key role in the development of flood risk management strategies, protecting populations and infrastructure.

**Keywords:** waterlogging, monitoring, modern technologies, risk assessment, infrastructure.

### References

1. Urban waterlogging mitigation based on the concept of sponge city / C. Xi, N. Sakai // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – T. 1144, № 1. – C. 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1144/1/012010>
2. Experience and enlightenment of urban waterlogging disaster prevention in foreign countries / J. Lu, F. Li, Y. Wang // E3S Web of Conferences. – 2022. – T. 352. – C. 03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235203010>
3. Analysis of urban waterlogging causes and LID techniques / B. Jiang // Highlights in Science, Engineering and Technology. – 2022. – T. 5. – C. 244–249. <https://doi.org/10.54097/hset.v5i.749>
4. Excessive Water and Drainage Management in Agriculture: Disaster, Facilities Operation and Pollution Control / S. Wang, J. Xu // Water. – 2022. – Vol. 14, No. 16. – P. 2500. <https://doi.org/10.3390/w14162500>
5. WATERLOGGED SOILS: CAUSES, CHALLENGES AND MANAGEMENT STRATEGIES / A. Patra, R.P. Singh, B.K. Singh, M.S. Kundu, G. Kumar, S. Mukherjee // Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Volume 3 Book 19 Iterative International Publisher, Selfpage Developers Pvt Ltd, 2024. – C. 49–58. <https://doi.org/10.58532/V3BCAG19P3CH1>
6. Effects of changing atmospheric circulation patterns on waterlogging potential in Southeast Europe / M. Mesaroš, D. Pavić, I. Leščešen. — 2023. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-14880>
7. Water Logging in South-Western Coastal Region of Bangladesh: Causes and Consequences and People's Response / M.A. Awal, A.F.M.T. Islam // Asian Journal of Geographical Research. – 2020. – C. 9–28. <https://doi.org/10.9734/ajgr/2020/v3i230102>
8. Comprehensive planning of drainage and waterlogging prevention layout based on urban double repair concept / Q. Xu, P. Chen // Desalination and Water Treatment. – 2022. – Vol. 268. – P. 285–295. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28701>
9. Analyzing the causes of urban waterlogging and sponge city technology in China / Y.-F. Ning, W.-Y. Dong, L.-S. Lin, Q. Zhang // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – T. 59. – C. 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/59/1/012047>

10. Use of geotechnologies in integrated assessment of urban drainage, water resources and urbanization / E. Pacheco, A. Finotti // *International Journal of Sustainable Development and Planning*. – 2015. – Vol. 10, No. 4. – P. 453–466. <https://doi.org/10.2495/SDP-V10-N4-453-466>
11. Reclamation of Waterlogged Lowland in Indo-Gangetic Alluvial Plains Using Some Biodrainage Species / M. Banik, A. Sarkar, P. Ghatak, R. Ray, S.K. Patra // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2018. – Т. 7, № 2. – С. 1028–1038. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.127>
12. Drainage induced waterlogging problem and its impact on farming system: a study in Gosaba Island, Sundarban, India / S. Ghosh, B. Mistri // *Spatial Information Research*. – 2020. – Vol. 28, No. 6. – P. 709–721. <https://doi.org/10.1007/s41324-020-00328-8>
13. Towards Monitoring Waterlogging with Remote Sensing for Sustainable Irrigated Agriculture / N. Den Besten, S. Steele-Dunne, R. De Jeu, P. Van Der Zaag // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13, No. 15. – P. 2929. <https://doi.org/10.3390/rs13152929>
14. Flood Monitoring Based on Remote Sensing of the Earth / L. Pavlova, D. Shaimardanov, A. Atnabaev, D. Mukhametov // *Bulletin of Science and Practice*. – 2024. – Vol. 10, No. 7. – P. 82–85. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/104/11>
15. An integrated approach for identification of waterlogged areas using RS and GIS technique and groundwater modelling / S. Kaushik, P.R. Dhote, P.K. Thakur, B.R. Nikam, S.P. Aggarwal // *Sustainable Water Resources Management*. – 2019. – Vol. 5, No. 4. – P. 1887–1901. <https://doi.org/10.1007/s40899-019-00342-1>
16. Hydro-Sentinel: Flood Water Observation and Extraction System / J. Karthikeyan, B. Khan L, P. Kumar, G. Supraja // *2024 International Conference on Signal Processing, Computation, Electronics, Power and Telecommunication (IConSCEPT)*. – Karaikal, India: IEEE, 2024. – С. 1–6. <https://doi.org/10.1109/IConSCEPT61884.2024.10627873>
17. Flood Guard: A Holistic Approach with IoT and AI Technologies / J. Gupta // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. – 2024. – Т. 12, № 6. – С. 1005–1010. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.61979>
18. Urban waterlogging monitoring system based on LoRa technology / F. Shao, P. Zeng // *ITM Web of Conferences*. – 2022. – Т. 47. – С. 01019. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20224701019>
19. Real-Time IoT Based Urban Street Water-Logging Monitoring System Using Google Maps / Md.I. Malek, R. Nanjiba, Z. Nayeem // *2020 2nd International Conference on Image Processing and Machine Vision*. – Bangkok Thailand: ACM, 2020. – P. 100–104. <https://doi.org/10.1145/3421558.3421574>
20. IOT-Based Flood Monitoring and Alarm System / Prof.V. Kumar, Mr.N. Kadnar, Mr.A. Gosavi, Mr.O. Jadhav // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. — 2023. – Т. 11, № 5. – С. 5142–5146. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.52858>
21. UAV Integrated Internet-of-Vehicle (IoV) System for Flooding Monitoring and Rescue / B. Liu, F. Ayaz, H.D. Anh, O. Edwards, Y. Zeng, Z. Sheng, X. Duan, D. Tian // *Proceedings of 2022 International Conference on Autonomous Unmanned Systems (ICAUS 2022): Vol. 1010: Lecture Notes in Electrical Engineering*. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. – P. 1004–1014. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-0479-2\\_91](https://doi.org/10.1007/978-981-99-0479-2_91)
22. Flood Detection Based on Unmanned Aerial Vehicle System and Deep Learning / K. Yang, S. Zhang, X. Yang, N. Wu // *Complexity*. – 2022. – Vol. 2022, No. 1. – P. 6155300. <https://doi.org/10.1155/2022/6155300>

23. Flood Detection Using Real-Time Image Segmentation from Unmanned Aerial Vehicles on Edge-Computing Platform / D. Hernández, J.M. Cecilia, J.-C. Cano, C.T. Calafate // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14, No. 1. – P. 223. <https://doi.org/10.3390/rs14010223>
24. The use of unmanned aerial vehicles for forecasting and preventing floods / D. Gura, P. Malimonenko, N. Dyakova, A. Solodunov // E3S Web of Conferences. – 2021. – T. 258. – C. 02028. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125802028>
25. Real-Time and Intelligent Flood Forecasting Using UAV-Assisted Wireless Sensor Network / S. Goudarzi, S. Ahmad Soleymani, M. Hossein Anisi, D. Ciunzo, N. Kama, S. Abdullah, M. Abdollahi Azgomi, Z. Chaczko, A. Azmi // Computers, Materials & Continua. – 2022. – Vol. 70, No. 1. – P. 715–738. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.019550>
26. Intelligent Prediction Method for Waterlogging Risk Based on AI and Numerical Model / Y. Liu, Y. Liu, J. Zheng, F. Chai, H. Ren // Water. – 2022. – Vol. 14, No. 15. – P. 2282. <https://doi.org/10.3390/w14152282>
27. Intelligent Solutions for Flood Management: Integrating Artificial Intelligence and Machine Learning / N.G. Paswan, L.K. Ray // Big Data, Artificial Intelligence, and Data Analytics in Climate Change Research: Advances in Geographical and Environmental Sciences. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. — P. 43–55. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-1685-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-97-1685-2_3)
28. Flooded Extent and Depth Analysis Using Optical and SAR Remote Sensing with Machine Learning Algorithms / J. Soria-Ruiz, Y.M. Fernandez-Ordoñez, J.P. Ambrosio-Ambrosio, M.J. Escalona-Maurice, G. Medina-García, E.D. Sotelo-Ruiz, M.E. Ramirez-Guzman // Atmosphere. – 2022. – Vol. 13, No. 11. – P. 1852. <https://doi.org/10.3390/atmos13111852>
29. A novel approach based on TCN-LSTM network for predicting waterlogging depth with waterlogging monitoring station / J. Yao, Z. Cai, Z. Qian, B. Yang // PLOS ONE. – 2023. – Vol. 18, No. 10. – P. e0286821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286821>
30. Information system for flood monitoring based on IoT and AI / A.J. Wilson, A. Pon Bharathi, M. Anoop, J. Angelin Jeba Malar // 2023 2nd International Conference on Smart Technologies and Systems for Next Generation Computing (ICSTSN). – Villupuram, India: IEEE, 2023. – C. 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSTSN57873.2023.10151466>

#### **Сведения об авторах:**

**Мухамеджанова А.Т.** – PhD, и.о. доцента кафедры «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

**Кажимканулы Д.** – докторант кафедры «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

**Утепов Е.Б.** – PhD, профессор кафедры «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

**Анискин А.** – к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Строительство», Университет Север, ул. 104. бригада 3, 42000, Вараждин, Хорватия.

**Мухамеджанова А.Т.** – PhD, «Құрылыс» кафедрасының доцента м.а., Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев 2 к-сі, 010008, Астана, Қазақстан.

**Қажимқанұлы Д.** – «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев 2 к-сі, 010008, Астана, Қазақстан.

**Утепов Е.Б.** – PhD, «Құрылыс» кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев 2 к-сі, 010008, Астана, Қазақстан.

**Анискин А.** – к.т.н., «Құрылыс» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Солтүстік Университеті, ул. 104. бригада 3 к-сі, 42000, Вараждин, Хорватия.

**Mukhamejanova A.T.** – PhD, Acting Associate Professor of the Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev street, 010008, Astana, Kazakhstan.

**Kazhimkanuly D.** – PhD Student of the Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev street, 010008, Astana, Kazakhstan.

**Uteпов Ye.B.** – PhD, Professor of the Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev street, 010008, Astana, Kazakhstan.

**Aniskin A.** – C.t.s., Associate Professor of the Department of Civil Engineering, University North, 104. brigade 3, 42000, Varaždin, Croatia.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).